

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

УДК 621.311

Ю. И. НЕФЕДОВ, канд. техн. наук

В. А. СТОРОЖЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Л. А. ПОЛЯКОВ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР ТЕПЛА**

*Рассматривается возможность использования для нагревания воды теплоты конденсации, получаемой из пара при низкой температуре, и кинетической энергии кавитационных пузырьков воздуха и пара в момент их разрушения. Приведены результаты теоретического обоснования механизмов получения тепла, блок-схема и принцип работы теплогенератора. Генератор тепла не требует сжигания топлива, поэтому не загрязняет окружающую среду и, по предварительным оценкам, имеет высокую энергоэффективность.*

*Розглядається можливість використання для нагріву води теплоти конденсації, яка утворюється із пари при низькій температурі, і кінетичної енергії кавітаційних бульбашок повітря й пари в момент їх руйнування. Наведені результати теоретичного обґрунтування механізмів теплоутворення, блок-схема і принцип роботи теплогенератора. Генератор тепла не потребує спалювання палива й тому не забруднює навколишнє середовище і, згідно попереднім висновкам, має високу енергоефективність.*

**Введение**

Поиски экономичных и экологически чистых источников тепла, не требующих сжигания органического топлива, привели к идеям использования для получения энергии теплоты конденсации пара [1, 2], явлений внутреннего трения и кавитации жидкости [3, 4]. В последние годы разработаны и успешно эксплуатируются холодильные машины с функцией рекуперации тепла [1], позволяющие утилизировать до 80 % теплоты конденсации, образуемой при испарении рабочего вещества. Это дало возможность повысить температуру воды в конденсационной камере до 50°C и использовать её для бытовых нужд. Энергоэффективность таких холодильных машин возросла, так как образуемая ими при охлаждении воздуха теплота конденсации не рассеивается, а эффективно используется для получения горячей воды.

В вихревых теплогенераторах [3, 4] значительная часть тепла высвобождается при кавитационном кипении жидкости с последующим разрушением пузырьков воздуха и пара. Часть тепловой энергии выделяется в теплоносителе в виде теплоты конденсации холодного пара, а часть – при передаче кинетической энергии лопающихся пузырьков в моменты их неупругого столкновения со стенкой теплоносителя и повышении давления. Вихревые теплогенераторы имеют высокую энергоэффективность [3, 4] и не загрязняют окружающую среду.

Во многих работах [1, 3, 4] выделение теплоты конденсации и энергии кавитационных пузырьков не рассматривается как главные явления в работе описываемых устройств. Теоретические разработки теплогенераторов, работающих исключительно на использовании указанных явлений, не известны.

**Основная часть**

В данной работе рассмотрены основные результаты теоретического обоснования использования теплоты конденсации и энергии кавитации для нагревания воды и для построения энергоэффективного и простого по конструкции теплогенератора.

При кипении воды пар «отбирает» у жидкости теплоту парообразования, в результате чего жидкость охлаждается. Удельная теплота парообразования воды имеет большую

величину ( $r \approx 2,38 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ) и в широком интервале температур почти не изменяется. Кипение воды с выделением теплоты парообразования можно осуществить при низкой температуре и низком давлении. Зависимость давления насыщающего пара от температуры (закон Клапейрона-Клаузиуса) позволяет определить для любой заданной температуры давление воздуха над свободной поверхностью воды, при котором вода кипит. Так, например, при температуре воды  $20^\circ\text{C}$  вода кипит при внешнем давлении воздуха  $P = 2328 \text{ Па}$ . Если создать такое давление в сосуде с водой, можно получить холодный пар. Перекаченный в конденсационную камеру (конденсатор) пар отдаст теплоносителю (воде) теплоту парообразования в виде теплоты конденсации. Чтобы при этом температура воды в сосуде с холодным паром не понижалась, в него должна подаваться нагретая примерно до  $35^\circ\text{C}$  вода, поступающая от потребителей тепла. С возрастанием температуры воды плотность насыщающих паров возрастает. Определим возможное повышение температуры воды в конденсаторе. Приравняв теплоту парообразования  $Q_1$

$$Q_1 = r \cdot m_n \quad (1)$$

к теплоте, выделяющейся в теплоносителе (воде) конденсатора  $Q_2$

$$Q_2 = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (2)$$

можно найти на сколько градусов повысится температура теплоносителя:

$$\Delta T = \frac{r \cdot m_n}{c \cdot m} \quad (3)$$

В соотношениях (1, 2, 3,)  $m = p_n V$  – масса перекачиваемого насыщенного пара с плотностью  $p_n$ ,  $c$  – удельная теплоёмкость воды,  $m$  – масса воды в конденсаторе,  $r$  – удельная теплота преобразования.

Если принять объём пара, перекачиваемого форвакуумным насосом за 1 сек.

$$V = 10^{-1} \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

плотность насыщающего пара при  $t = 30^\circ\text{C}$  –  $p = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , массу воды кондиционера –  $m = 100 \text{ кг}$ , можно определить повышение температуры увеличить до  $100^\circ\text{C}$   $\Delta T$  (3) без учёта потерь тепла. Оно составит примерно  $1^\circ$  за 1 минуту прокачки пара. За 1 час прокачки температуру теплоносителя можно увеличить до  $90^\circ\text{C}$ . Если температура воды в сосуде с насыщающим паром возрастет, то плотность, а следовательно и масса, перекачиваемого в единицу времени насыщающего пара увеличится, что приведет к более быстрому нагреванию теплоносителя конденсатора.

При большом потреблении тепла, вода из конденсатора подаётся на вторую ступень теплогенератора, нагревающую воду энергией, выделяющейся при разрушении кавитационных пузырьков. Схема второй ступени теплогенератора показана на рис. 1.

Рассмотрим процесс повышения температуры теплоносителя в кавитационном теплогенераторе. Согласно уравнению Бернули, в местах сужения трубы давление жидкости уменьшается вследствие увеличения динамического давления (скорости жидкости). Если давление в узком сечении трубы  $S_2$  (рис. 1) понижается до величины, при которой возникает кавитация и жидкость начинает кипеть, образующиеся пузырьки воздуха и пара переходят с движущимся потоком жидкости в область трубы с большим сечением  $S_1$ , где давление больше. Здесь пузырьки лопаются, выделяя энергию конденсации и кинетическую энергию неупругого столкновения пузырька со стенкой теплогенератора.

Внутренняя энергия и температура участков с широким сечением увеличивается.

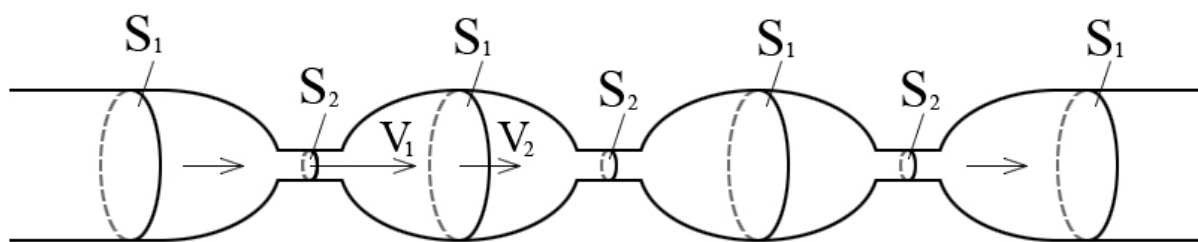


Рис. 1. Кавитационный теплогенератор.

Задача использования уравнения Бернули для расчёта параметров жидкости при её переходе из трубы широкого сечения в трубу с узким поперечным сечением подробно рассмотрена в гидродинамике [5]. Результаты расчёта сводятся к простой формуле:

$$\Phi = \mu \cdot A \cdot \sqrt{h} , \quad (4)$$

где  $\Phi$  – расход (поток) жидкости;

$$A = S_1 \cdot S_2 \sqrt{\frac{2g}{S_1^2 - S_2^2}} \quad (5)$$

константа, зависящая от площади сечений трубы  $S_1$  и  $S_2$ ;  $g$  – ускорение свободного падения;

$$h = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \quad (6)$$

разность пьезометрических уровней (показаний пьезометров) в широкой и узкой частях трубы, зависящая от разности давлений  $P_2 - P_1$  в соответствующих сечениях;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\mu < 1$  – коэффициент потерь, вызванных внутренним трением и турбулентностью.

Примем расход жидкости, температуру воды на входе теплогенератора (в сечении  $S_1$ ) 40°C. При данной температуре вода кипит, если давление составляет  $P_2 = 7335 \text{ Па}$ . Такое давление в сечении  $S_2$  должно привести к кавитации (кипению). В широком сечении  $S_1$ , при небольшом расходе жидкости, скорость потока будет невелика. Поэтому давление здесь будет мало отличаться от атмосферного.

Примем разность давлений  $P_2 - P_1 = 9 \cdot 10^4 \text{ Па}$ , коэффициент потерь  $\mu = 0,8$ , а радиус узкого сечения трубы  $r_2 = 1 \text{ см}$ . Вычислив  $h$  (6), можно определить из соотношения (4) константу  $A$ , а далее из формулы (5) найти площадь поперечного сечения  $S_1$  широкой части трубы и её радиус  $r_1$ . Выполненные расчёты дают трубы радиусом 4 см в узкое сечение радиусом 1 см, возникнет кавитация с последующим выделением энергии лопающихся пузырьков в широкой части (сечении  $S_1$ ) теплогенератора. Использование нескольких последовательно чередующихся переходов воды из узкого сечения в широкое (рис. 1) позволит увеличить поверхность теплоотдачи теплогенератора без понижения температуры теплоносителя.

Принципиальная блок-схема теплогенератора с двумя последовательными ступенями нагрева воды показана на рис. 2.

Первая ступень нагрева теплоносителя осуществляется в конденсаторе 10. Рассмотрим подробнее работу первой ступени теплогенератора.

Вода, с комнатной температурой ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) не полностью заполняет закрытый резервуар (бак) 1. Уровень воды в баке поддерживается с помощью выпускного 3 и наполняющего 4 кранов.

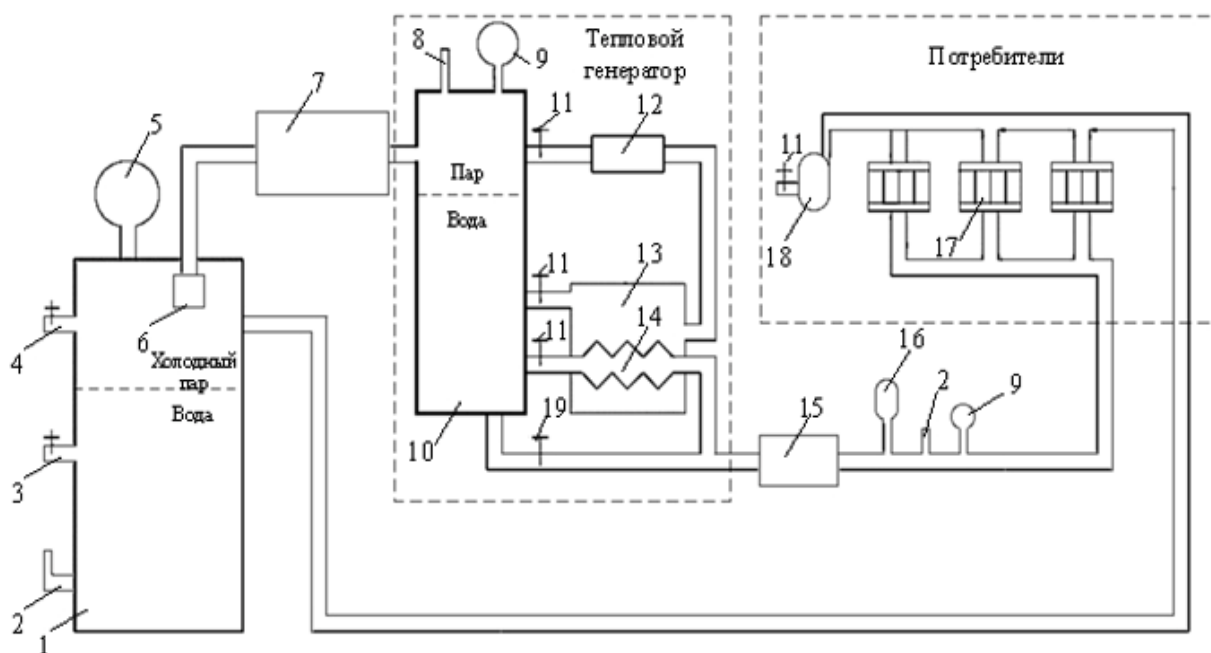


Рис. 2. Принципиальная блок-схема тепловой установки:

- 1 – резервуар с водой; 2 – термометр; 3 – вентиль уровня воды; 4 – кран подпитки водой; 5 – вакууметр; 6 – фильтр; 7 – форвакуумный насос; 8 – предохранительный клапан давления; 9 – монометр; 10 – конденсатор; 11 – вентили; 12 – насос горячей воды; 13 – вторая ступень нагрева воды теплогенератора; 14 – кавитатор; 15 – насос прокачки; 16 – расширительный бак; 17 – тепловые приборы; 18 – бак выпуска газо-водяной смеси (ГВС) из теплонагревателей; 19 – вентиль для подключения к потребителю первой ступени теплогенератора (конденсатора).

Форвакуумный насос 7 создает разрежение воздуха над свободной поверхностью воды в баке ( $\approx 2328$  Па). Давление контролируется вакууметром 5. При указанном давлении вода кипит при комнатной температуре, а холодный пар перекачивается форвакуумным насосом 7 в конденсатор 10, где поддерживается постоянное давление. Теплота конденсации, равная теплоте парообразования, поглощается водой конденсатора и нагревает её. Для того, чтобы вместе с холодным паром не всасывалась насосом вода, на конце всасывающего патрубка устанавливается фильтр 6, пропускающий пар. Предохранительный клапан 8 позволяет поддерживать в конденсаторе постоянное давление пара. При небольшом потреблении тепла, вентили 11 закрыты, а вентиль 19 открыт. Насос прокачки 15 подаёт нагретую воду к потребителям (тепловым приборам 17). Далее остывшая примерно до  $35^{\circ}\text{C}$  вода по трубам поступает обратно в бак 1. Температура этой воды выше начальной температуры воды в баке. Поэтому, поступающая после потребителей вода повысит температуру воды резервуара 1, охлаждённую отданной теплотой парообразования.

При большом потреблении тепла (в холодное время года) последовательно с конденсатором 10 включается вторая ступень 13 нагрева воды – кавитационный генератор. Вентиль 19 закрывается, а вентили 11 открываются. Теплая вода из конденсатора подается через два вентили в кавитатор 14 и на его внешнюю поверхность. В кавитаторе происходит кипение воды при низком давлении с поглощением водой и стенками кавитатора теплоты конденсации и кинетической энергии пузырьков пара и воздуха в момент их разрушения. Вода конденсатора обтекает ещё и внешнюю поверхность кавитатора, утилизируя тепло этой нагретой поверхности. Нагретая вода перекачивается насосом 12 в конденсатор 10, повышая температуру теплоносителя. Горячая вода с выхода кавитатора насосом прокачки 15 подаётся к потребителям, откуда поступает в бак 1, нагревая охлаждённую в нём воду.

Для поддержания постоянного давления воды в тепловой системе потребителей, после насоса прокачки устанавливается расширительный бак 16. Для устранения воздушных «пробок» в теплосети используется бак 18 с вентилем для выпуска газо-водяной смеси. Необходимое для кипения воды давление воздуха в резервуаре 1 при изменении температуры воды в нём предполагается поддерживать путём изменения оборотов электродвигателя насоса 7. Эту операцию можно полностью автоматизировать.

### Выводы

Точный расчет тепловой мощности, вырабатываемой таким теплогенератором, является сложной задачей, требующей экспериментальной проверки всех его характеристик. Для этого планируется создать на базе сделанных разработок теплогенератор небольшой мощности. Законы гидродинамического и термодинамического подобия позволяют по полученным на такой модели экспериментальным данным рассчитать теплогенератор любой нужной мощности.

Неоспоримым достоинством рассмотренного теплогенератора является то, что для его работы не требуется сжигание дефицитного органического топлива, а электроэнергия используется только для работы насосов. Теплогенератор имеет простую конструкцию, малые габариты и не загрязняет окружающую среду. К недостаткам теплогенератора следует отнести кавитационный износ рабочих органов форвакуумного насоса и внутренней поверхности кавитатора. Применение кавитационно-стойких материалов [5] позволяет устранить этот недостаток.

### Список литературы

1. В. Заславский. Рекуперация теплоты в холодильных машинах TRANE – журнал «Сантехника, отопление, кондиционирование», февраль, 2007.
2. Екологічно чисте джерело теплової енергії. Поляков Л. О., наук. кер. канд. техн. наук доц. Нефедов Ю. І. Матеріали XIV міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроніка і молодіж в ХХІ столітті», – Харків, ХНУРЕ, 2010. – 435 с.
3. Бритвин Л. Н., Бритвина Т. В., Щепочкин А. В. Вихревой генератор тепла. Изобретение. Патент Российской Федерации RU 2282114, 2004.
4. Устройство тепловой станции: тепловые станции на основе вихревых тепловых генераторов. «Тепло ХХІ в.», сайт info@ecoteplo.ru, 2007.
5. Л. С. Скворцов, Ф. М. Долгачев, П. Д. Викулин, В. Б. Викулина. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения, – М., «Архитектура-С», 2008.

## ENERGY CONSERVING GENERATOR OF THERMAL ENERGY

U. I. NEFEDOV, Cand. Tech. Sci., V. A. STOROSHENKO, D-r Sci. Tech., Pf.  
L. A. POLIAKOV

*The given work is devoted to consideration of an alternative source of thermal energy, which do not pollute environment. It is shown an ability of production of thermal energy through conversion of heat of evaporation into heat of condensation.*

*Поступила в редакцию 28.04 2010 г.*